

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ ОПРАВОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ МЕДНЫХ ТРУБ

Шалаева М.С., аспирантка  
Логинов Ю.Н., профессор, д.т.н.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург  
ОАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов», г.Ревда

Капиллярные медные трубы выпускаются в нашей стране в соответствии с требованиями ГОСТ 2624. Трубки группы А служат для общих целей, например, для измерительных приборов в условиях применяемой среды типа воздух, масло, бензин и др. Трубки группы Б предназначены для изготовления дросселей между конденсатором и испарителем холодильных установок и с использованием хладагентов в качестве применяемой среды.

Одной из главных проблем на пути получения качественных капиллярных медных труб является обеспечение необходимой пропускной способности, а на последнюю величину влияют два основных фактора:

- состояние шероховатости полости трубы;
- загрязнение внутренней поверхности посторонними частицами.

Возможное состояние внутренней поверхности трубы показано на рис. 1. Из него видно, что состояние поверхности ухудшено наличием рисок, вытянутых вдоль оси трубы.

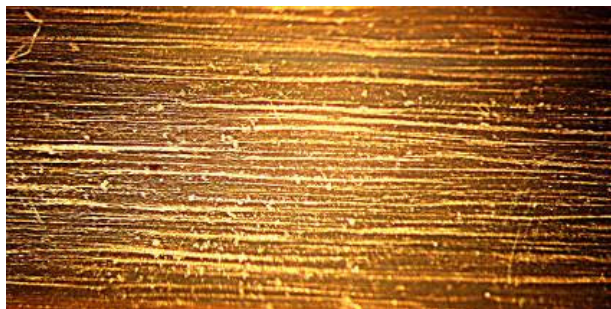


Рис. 1. Вид внутренней поверхности трубы 8×0,95 мм под микроскопом (×32)

Практика волочения труб показала, что ухудшение внутренней поверхности труб происходит вследствие повышения шероховатости оправки. Для примера на рис. 2 приведен характер изменения поверхности оправок на отдельных участках формообразующей поверхности.

На фотографиях видно, что износ представляет собой многочисленные риски, нанесенные на поверхность инструмента перемещающимся металлом трубы. Фактором, провоцирующим износ, являются частицы оксида меди, выполняющие роль абразивного материала. Эти частицы постоянно поступают на поверхность скольжения вместе с поступающей в очаг деформации заготовкой. Один из участков поверхностей оправки, подверженный износу – калибрующий пояс, здесь же часто наблюдаются налипания меди, что дополнительно ухудшает состояние формообразующей поверхности.

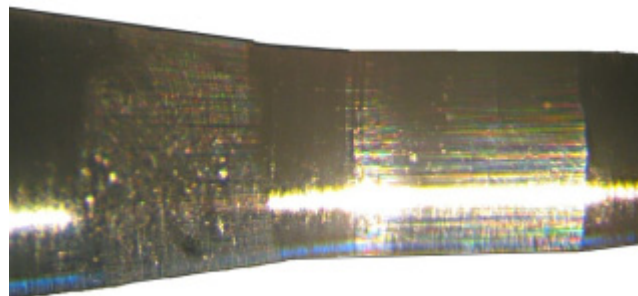


Рис. 2. Внешний вид переднего конца самоустанавливающихся оправок после волочения

Для объяснения отмеченного явления могут быть привлечены следующие гипотезы.

1. Через калибрующий пояс оправки протягивается большее количество металла, выраженное в длине, поскольку длина трубы в этом месте в коэффициент вытяжки раз больше, чем на входе в очаг деформации. Соответственно величины скольжения отличаются с коэффициентом пропорциональности, равным коэффициентам вытяжки.
2. Нормальные напряжения (то есть радиальные напряжения для этого участка поверхности) в этом месте больше, чем на других контактных поверхностях, что вызывает появление и наибольших касательных напряжений в соответствии с законом Амонтона – Кулона. Касательные напряжения на контакте металла с цилиндрической частью оправки являются напряжениями трения. Повышенное напряжение может вызывать повышенный износ.
3. По длине поверхности оправки различен нагрев контактных поверхностей вследствие различия тепловыделения от работы пластической деформации и сил трения. Наличие постоянного и локализованного источника тепла вызывает постепенное повышение температуры инструмента, вследствие чего до большей температуры нагреваются порции металла, поступающие в очаг деформации. Известно, что процесс

налипания меди на инструмент интенсифицируется при повышении температуры. Кроме того, температура в локальных участках инструмента может превысить температуру отпуска стали, что вызовет потерю прочности и твердости оправки.

Анализ работоспособности первой гипотезы приводит к необходимости установления значимости коэффициентов вытяжек. В отличие от пресования коэффициенты вытяжек не очень велики, что не приводит к резкому нарастанию длин заго-

товок, поэтому эта гипотеза может быть использована как вспомогательная.

Для оценки влияния второй гипотезы выполнено решение краевой задачи в программе DEFORM. На рис. 3 и 4 показаны результаты решения в виде линий равного уровня радиальных напряжений  $\sigma_{rr}$  и касательных напряжений  $\sigma_{rz}$ .

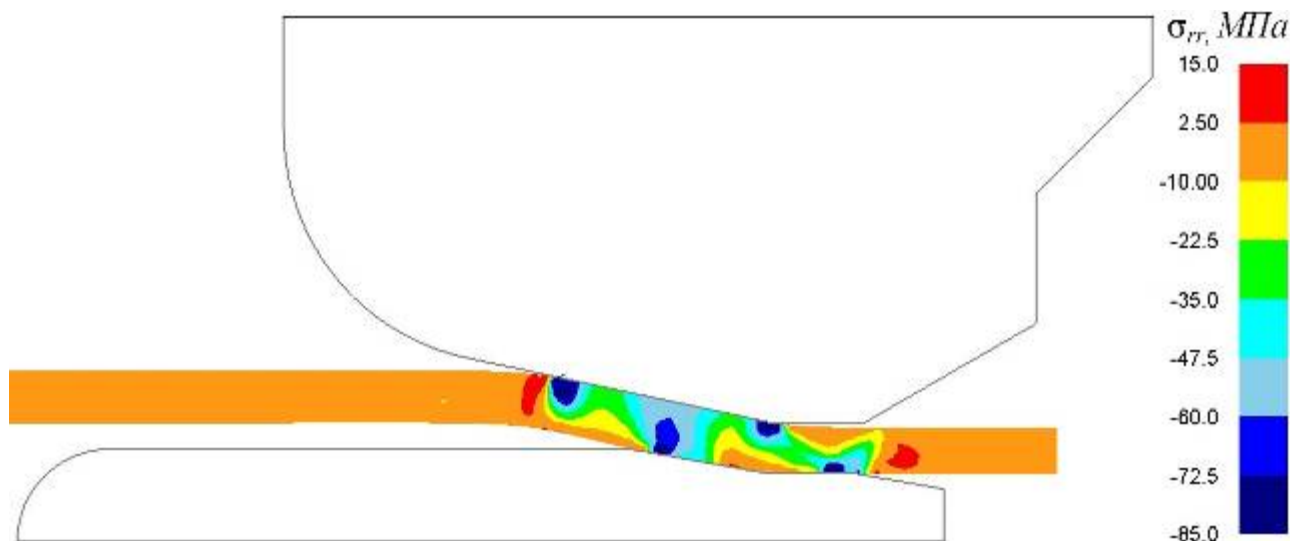


Рис. 3. Распределение радиальных напряжений при волочении капиллярной трубы

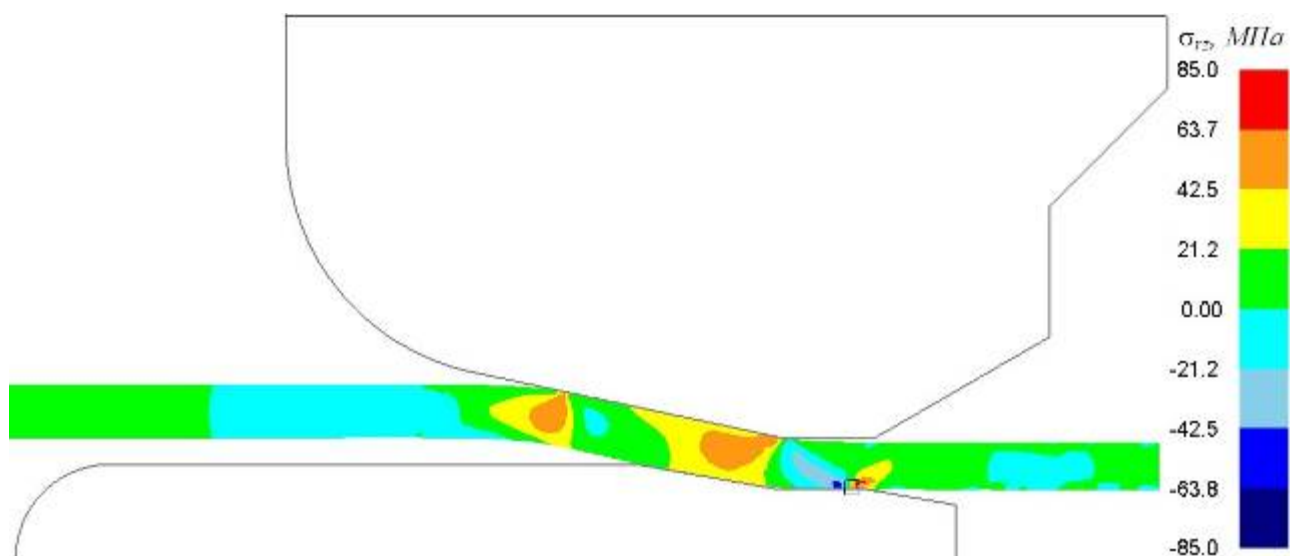


Рис. 4. Распределение касательных напряжений при волочении капиллярной трубы

Из рисунка видно, что максимум касательных напряжений действительно наблюдается на контактной с оправкой поверхности в месте схода металла с оправки. Поэтому вторая гипотеза не может быть отвергнута. Ее следствием может являться повышенное тепловыделение из-за рассеяния мощности сил трения.

Для проверки третьей гипотезы с помощью программы DEFORM выполнен расчет тепловых полей, возникающих при волочении. Реализована

постановка задачи волочения толстостенной трубы в неизотермических условиях при коэффициенте трения 0,75 на наружной поверхности и 0,05 - на внутренней. Длина протянутой трубы составляет 40 мм, скорость волочения 100 мм/с; температура окружающей среды (температура в начальный момент времени) 20°C; материал оправки сталь У10А, материал матрицы твердый сплав ВК8; излучение отсутствует; коэффициент теплопередачи между заготовкой и инструментом постоянен.

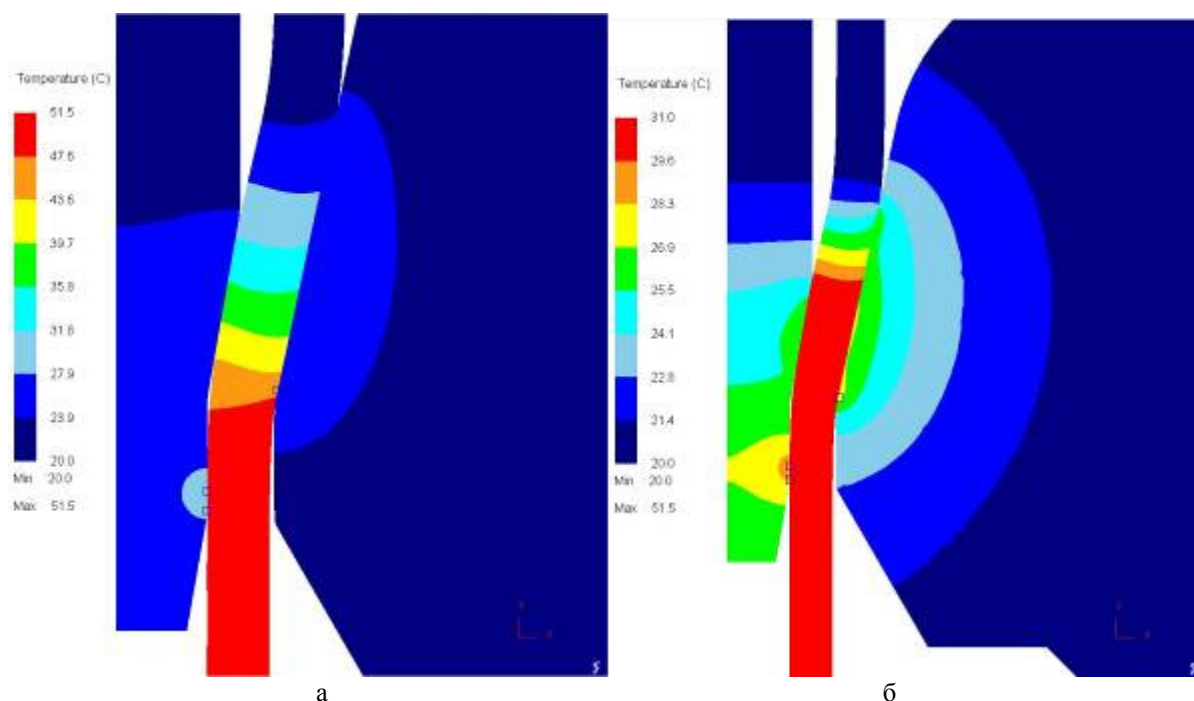


Рис. 5. Распределение температурных полей при волочении капиллярной трубы для заготовки (а) и инструмента (б)

Как видно из рисунков, температурное поле, как заготовки, так и инструмента неоднородно. Повышение температуры на первый взгляд не очень значительно, но через инструмент протянуто очень небольшое количество металла. При наращивании длины заготовки будет постепенно увеличиваться температура, но сохранятся тенденции, выявленные в решении. В производственных условиях температура будет повышена до некоторого предела вследствие установления баланса прихода и рассеивания тепла в окружающую среду.

Можно сравнить гипотетически термическое состояние двух видов инструмента – волокна и оправки. Волокно находится под воздействием теплопередачи от нагревающейся во время деформации заготовки, поэтому должна постепенно нагреваться. Однако снаружи для этого инструмента существуют поверхности теплоотвода: обойма, волокодержатель, поэтому тепло имеет возможность рассеиваться.

Оправка помещена внутри трубы, поэтому тепловой поток от заготовки поступает полностью в оправку и не может быть рассеян. В этой ситуации существует только одна возможность отъема тепла – с уходящей заготовкой. В связи с такими неравными условиями теплоотвода, оправка должна нагреваться до большей температуры, чем волокно.

Решение задачи показывает, что на начальном этапе волочения сильнее нагревается заготовка, от нее тепло передается в инструмент. У оправки наиболее нагретой частью является передняя часть, что с позиции напряженного состояния не очевидно – здесь не действуют слишком большие напряжения. На последующих этапах волочения роли должны поменяться: оправка по мере протягивания все большего количества заготовки должна прогреваться и взаимодействовать с более холодной заготовкой, однако положение источников тепла останется прежним.

Таким образом, на этом этапе расчетов удалось установить, что наиболее нагретая часть оправки совпадает с участком ее повышенного износа. Скорее всего, третья гипотеза вносит наибольший вклад в механизмы износа инструмента и формирования шероховатости внутренней поверхности капиллярных медных труб.